

Sobre el Rediseño del Curriculum de Ciencias Cuantitativas para CBS

by

Jorge X. Velasco-Hernandez

BU-1300-M

July 1995

Sobre el Rediseño del curriculum de Ciencias Cuantitativas para CBS

Jorge X. Velasco Hernandez
Biometrics Unit, Cornell University
Ithaca, NY 14853-7801

Abstract

This paper discusses new methods and ideas to teach mathematics to students of biological sciences. We describe several curricula actually in use in American Universities and compare their approaches. We put emphasis in the use of new computer technologies, particularly in the area of software development, and stress the importance of incorporating computing laboratory sessions to further investigate and promote interest in the application of quantitative methods.

Keywords: Teaching of mathematics, biological sciences curriculum, education software, Mexico.

Sobre el rediseño del curriculum de ciencias cuantitativas para CBS

Jorge X. Velasco Hernández
Biometrics Unit, Cornell University
Ithaca, NY 14853-7801

Introducción

La enseñanza de métodos cuantitativos a estudiantes de las ciencias biológicas, es un tema fascinante y difícil. Es también una labor necesaria en las instituciones que otorgan grados en biología, medicina, agronomía, bioquímica, etc. El desarrollo de las últimas décadas en las ciencias biológicas ha conducido, en muchísimos casos, al uso de métodos cuantitativos para elucidar resultados oscuros o contrastar hipótesis antagónicas, por ejemplo. Por ende, existe la necesidad imperiosa de preparar a los estudiantes que egresarán de estas carreras en el conocimiento y manejo de estas herramientas.

Existen, sin embargo, problemas históricos que obstaculizan la expedita implementación de políticas con este objetivo. La preparación del estudiante promedio que ingresa a carreras en las áreas biológicas y de la salud es deficiente (aunque no es un hecho documentado cuantitativamente en nuestro país). Así mismo, el profesorado de las ciencias biológicas, en una mayoría afortunadamente decreciente, carece del entrenamiento necesario para entender y aplicar métodos cuantitativos adecuados. A veces la aplicación rutinaria de recetas estadísticas es tomada como paliativo a esta situación. Sin embargo, el desconocimiento de ciencias cuantitativas por los profesores del área repercute en la carencia de un marco de referencia teórico que permita la discriminación de métodos y técnicas modernas aplicables e idóneas a experimentos o estudios particulares. El resultado es que, metafóricamente, muchas veces se matan moscas a cañonazos o se quieren matar elefantes a puntapiés.

En el presente documento doy mi opinión personal, basada en mi experiencia docente y profesional, acerca de los criterios, problemas y objetivos que un rediseño curricular de las ciencias cuantitativas en CBS debe considerar. El documento lo presento, esencialmente, como una base sobre la cual discutir. Sería pedante y erróneo de mi parte argumentar que lo que abajo presento es verdadero y válido sin mas ni mas. No lo hago. Presento este documento a la crítica de las personas interesadas y, obviamente, estoy dispuesto a discutir, colaborar y participar activamente (y en la medida de lo posible) en este intento de rediseño.

Antes de proseguir, presento brevemente, mis credenciales. Soy un producto de la UAM (biólogo egresado de la UAMX, con la maestría en matemáticas obtenida en la UAMI, profesor de la UAMI), con experiencia de investigación en biomatemáticas y que, en particular, estoy involucrado activamente en el diseño de un curso en la Universidad de Cornell (llamado Biometry 102) introductorio de métodos cuantitativos para estudiantes de primer ingreso en las áreas biológicas, en la revisión de un libro de texto de métodos cuantitativos para biólogos y en la elaboración de un libro a nivel posgrado sobre modelos poblacionales en ecología.

Premisas

Con base en estas experiencias aquí están mis comentarios:

1. La idea detrás del objetivo del rediseño del curriculum de matemáticas (métodos cuantitativos) para CBS debe ser, obviamente, el de proporcionar a los estudiantes de CBS herramientas cuantitativas que, conjuntamente con otras metodologías biológicas, les permitan describir, explicar y predecir fenómenos biológicos. En mi opinión el criterio básico del objetivo debe ser *operacional* (los estudiantes deben adquirir un *working knowledge* como dicen en inglés). Sin embargo, el criterio operacional debe, conjuntamente, contener un sólido entendimiento de los conceptos teóricos básicos que permiten (*sine qua non*) un uso inteligente y adecuado de las herramientas en cuestión. Como dice el adagio: la praxis sin la teoría es ciega.
2. En consecuencia deben considerarse en el rediseño tres aspectos importantísimos, a mi parecer. a) la caracterización estadística del nivel de matemáticas de los estudiantes que tomarán los cursos, b) el rediseño de los contenidos académicos del curriculum propiamente dichos, c) la preparación e interés del personal docente encargado de darlos. El primer punto es básico pero poco explorado. En general se sabe, por una combinación de rumor, experiencia de clase y prejuicios negativos, que los estudiantes llegan a la universidad con un nivel malo de matemáticas. Para diseñar un curriculum de esta materia no basta con saber eso (si queremos enfocar el problema desde el punto de vista científico, lo cual es natural pues somos científicos precisamente). Tenemos que saber qué tan mal llegan los estudiantes, necesitamos saber cuantitativamente en qué áreas fallan, necesitamos caracterizar y cuantificar sus deficiencias de tal forma que nuestros diseños se puedan evaluar. De otra forma vamos dando palos de ciego y cualquier rediseño, a los pocos trimestres, va a chocar con la terca realidad que pocas veces se rinde ante el enfoque, fácil pero impreciso, del ensayo y error. De la

misma forma debemos conocer a nuestro personal, necesitamos saber quiénes son los que darán las clases a los estudiantes de CBS. Tan importante es la motivación estudiantil para tomar un curso, como la motivación docente para darlo (el proceso de enseñanza aprendizaje es interactivo). Un típico matemático se gradúa minimamente con un cierto conocimiento práctico y cierta intuición sobre procesos físicos elementales que le permiten, en promedio, dar clases de cálculo con motivaciones adecuadas e interesantes para estudiantes nuevos en CBI. Sin embargo esas mismas motivaciones solo serán motivaciones adecuadas para estudiantes de CBS en unos pocos casos. No todo es culpa de la mala preparación de los estudiantes de ciencias biológicas. También, la otra mitad, es culpa de la pobre preparación y motivación del personal docente (generalmente matemáticos e ingenieros) para *enseñar* matemáticas y métodos cuantitativos a biocientíficos.

3. Reconociendo que los tres aspectos arriba mencionados son *igualmente* importantes, me concentraré en el inciso b) (tengo un artículo en CONTACTOS --10: 42-49, 1993-- en donde discuto someramente varios aspectos relacionados. Quizás les interese consultarlo).

Rediseño de los contenidos academicos

- **Programa (MATE I-II-III)--Tronco Básico**

Defino en principio *programa de matemáticas* como el conjunto de los cursos de matemáticas del *tronco básico* de CBS. Entiendo el rediseño del curriculum de matemáticas para CBS como la revisión, actualización y mejoramiento de los objetivos generales que le dan razón de ser, mas el rediseño de este *Programa* mas el rediseño de objetivos y cursos optativos/particulares de cada área o carrera.

Creo que uno de los mas graves errores en el diseño de los cursos de matemáticas a CBS--y quizás también en otras divisiones--, es que los cursos y sus respectivos programas en la práctica no estan guiados por el objetivo general del *programa completo* (MATE I-II-III) sino por los *contenidos académicos* de cada curso lo que le da al factor tiempo un papel determinante. Muestra de esto es que, por ejemplo, en el diseño de los--extraordinariamente inútiles (mi opinión)--exámenes generales que se hacen cada trimestre, los profesores son forzados a cubrir contenidos específicos (derivación, inducción, etc.) en tiempos específicos perdiendo de vista el objetivo: ¿para qué quieren derivar, inducir etc los estudiantes? ¿Qué caso tiene que sepan hacer inducción a la tercera semana del trimestre --y que algunos sean extraordinariamente buenos y otros extraordinariamente malos--si el *objetivo global* del programa queda relegado al

bote de basura? Las matemáticas para los estudiantes de CBS son una herramienta, no un fin en sí mismo.

La división en trimestres es forzosa por razones administrativas. El programa, por consiguiente, debe administrativamente ajustarse a ellos. Sin embargo, los objetivos deben ser globales y por consiguiente, el programa debe diseñarse, no por materias, sino por objetivos; no en función de las 10 semanas de cada trimestre sino en función del objetivo a satisfacer al finalizar el tercer trimestre del tronco.

- **Necesidades estudiantiles**

Fundamentalmente hay que reconocer, de entrada, y con todo el respeto que se merecen mis colegas matemáticos, que varios de ellos aceptan con mucho trabajo y sin convencimiento que: a) estadística y matemáticas son necesarias para los estudiantes de CBS como herramientas, no como un fin en sí mismo, b) que esto *no* quiere decir que los estudiantes de CBS son retrasados mentales o científicos de segunda, c) que los *objetivos* y *motivaciones* de los biocientíficos con respecto a las matemáticas son distintas de las de los científicos de CBI pero las matemáticas son las mismas. El *uso* de las matemáticas y estadística que un ingeniero hace no es metodológicamente distinto del uso que de las mismas herramientas hacen los biocientíficos, d) para asesorar correctamente en el rediseño del curriculum de ciencias cuantitativas para CBS, un matemático debe aceptar que las biociencias deben jugar un papel fundamental *dentro* de los nuevos cursos de matemáticas, proporcionando ejemplos (no triviales) y aplicaciones reales (que hay infinitas). Ciertamente no todos los ejemplos deben o pueden ser 'biológicos' pero, igualmente, *no* todos deben ser sobre partículas, cilindros, móviles y átomos.

- **Matemáticas ¿para qué?**

Esta es la pregunta básica. Con todo respeto para mis colegas biocientíficos (yo mismo me considero uno de ellos así que la crítica que sigue la asumo como parte del gremio), pero muchas veces cantidad se confunde con calidad. Que los estudiantes tomen cursos de ecuaciones ordinarias, parciales, optimización, etc, no implica que estos estudiantes, además de saberse las propiedades de la línea recta, sepan *aplicar* este conocimiento a los problemas biológicos que se les presenten (en la vida real, en clase o en experimentos), es decir, no necesariamente se vuelven capaces de construir modelos. Yo creo que las matemáticas en CBS son herramientas para *modelar* procesos biológicos que a su vez se justifican si sirven *para entender, explicar o predecir* comportamientos y estructuras de procesos biológicos. Y modelar procesos biológicos significa abstraer el problema y después representarlo en símbolos matemáticos. Dudo

que después de todos esos cursos propuestos, un estudiante promedio de CBS pueda construir un modelo sencillo, por la elemental razón de que en esos cursos *no* se les entrena para ello. Se les entrena para que, aplicando recetas de cocina, aprendan a identificar el tipo de ecuación (dada de antemano) y aplicar correctamente la receta. ¿De que sirve que un estudiante aprenda todas esas matemáticas si en los cursos de biología propiamente dichos un alto porcentaje de los profesores-no-las-usan-ni-aplican en sus clases, ni en las prácticas de laboratorio o campo? Si uno revisa las prácticas de laboratorio y campo de los biólogos encuentra aplicaciones estandar de estadística (estadística descriptiva, comparaciones entre muestras, diseño experimental de los mas básico) pero raramente sus aplicaciones de edo o edp u optimización llegan a ser algo mas que rutinarias. ¿Tanta información (cursos de ecuaciones diferenciales ordinarias, ecuaciones diferenciales parciales, métodos numéricos, optimización) para tan 'humilde' resultado?

- **Estadística**

Si uno revisa una muestra de revistas científicas en CBS (no importa la disciplina) se da uno cuenta inmediatamente de que la herramienta cuantitativa en estas áreas tiende a concentrarse, por excelencia, en la estadística. El uso de otro tipo de herramientas matemáticas va en aumento y, en algunas ramas de las ciencias biológicas, se han usado intensivamente por largo tiempo. Yo creo que variados aspectos de la estadística deben incluirse en el tronco básico de CBS como parte del programa de matemáticas. En mi opinión, matemáticas y estadística están indisolublemente mezcladas en las biociencias y una no se puede enseñar sin la otra integradamente, sencillamente por la razón de que, e.g., un diseño experimental y su adecuada aplicación no tienen futuro si no se conocen los fundamentos conceptuales que lo hacen posible y aplicable a un experimento en particular.

Cursos

Antes de dar una lista de cursos, yo me preguntaría: ¿cuales son los objetivos del rediseño?

En Estados Unidos hay un interés muy grande por parte de las escuelas donde biocientíficos son producidos, por integrar la enseñanza de ls ciencias cuantitativas al curriculum básico (tradicional) de las biociencias. La información que proporciono a continuación proviene de un estudio que el Professor Louis Gross (Departamento de Matemáticas y Programa de Ecología de la Universidad de Tennessee en Knoxville) preparó hace unos tres años. El propósito de reproducir esta información es simplemente el de proporcionar un marco de comparación que nos ayude a encontrarnos.

En promedio es de esperarse que, en Estados Unidos, el número de instituciones que otorgan grados en las ciencias biológicas y que además tienen estructurado un curriculum mínimo de matemáticas para los mismos estudiantes, sea mayor que en México. Con esta salvedad, procedo.

La encuesta incluyó 86 carreras biocientíficas en 47 universidades. De estas carreras solamente 4 no requerían nada de matemáticas (4.6%). El número promedio obligatorio de semestres/materia para las 82 carreras restantes es el siguiente

Materia	Número de semestres promedio
Computación	0.128
Estadística	0.157
Cálculo	1.260
Precálculo	0.337

El número total de semestres con cursos de matemáticas, estadística o computación (ciencias cuantitativas) fue, en promedio, de 1.88. Por otro lado, la distribución de requerimientos de las materias en la tabla anterior por carrera es la siguiente

Número de Programas	Requisito
11 (13%)	Computación
14 (16%)	Estadística
68 (79%)	Alguna forma de cálculo
26 (30%)	Precálculo

Solamente 5 de las carreras tenían como único requisito un curso de precálculo. Si sumamos las 4 carreras que no requerían de cursos cuantitativos mas aquellas que solamente requieren precálculo, tenemos que el 10% del total de carreras encuestadas (86) no requerían habilidades cuantitativas superiores a las adquiridas en escuelas preparatorias (High School).

Es obvio, de las tablas anteriores, que un porcentaje significativo de las carreras encuestadas que dan cursos de matemáticas a sus estudiantes, consideraban que éstos requieren de un curso de prerrequisitos preparatorio antes de embarcarse en cursos cuantitativos a nivel licenciatura.

Profesorado

Siguiendo con el profesor Gross, cito a continuación un párrafo que considero importante pues ejemplifica una de las bases de la solución y la controversia que el rediseño del curriculum de ciencias cuantitativas para CBS trae consigo.

Steven Krantz en su libro *How to teach mathematics: a personal perspective* (American Mathematical Society, Providence RH 1993), dice lo siguiente:

“...no te metas en la faena de dar aplicaciones triviales o artificiales.....acércate al personal docente con experiencia en tu departamento para que te aconseje sobre los recursos disponibles que te pueden ayudar a dar aplicaciones interesantes en tus clases”.

¿Es razonable pedirles a los profesores de matemáticas que, esencialmente, aprendan biología elemental para dar sus cursos a estudiantes de CBS? Sin mucho pensarlo y guiado por mi intuición de la situación nacional y las encuestas del Prof. Gross, yo diría que, independientemente de lo razonable (que yo creo personalmente que sí lo es), la reacción de los profesores de matemáticas a una política guiada por el principio que se deduce de la pregunta anterior sería variada. Idudablemente habría un grupo de profesores que lo tomaría como un principio básico de la labor docente. Especialmente cuando, queramoslo o no, el departamento de matemáticas da una gran cantidad de cursos de servicio, no solo a la DCBS sino a la DCSH también. Sin embargo, yo esperarí oposición de un grupo no pequeño de matemáticos (el profesor Gross recibió como comentario opositor el siguiente --traducido libremente a su equivalente nacional-- “esto es un Departamento de Matemáticas, no una escuela de los Institutos Patrulla”).

En el mejor de los casos, yo esperarí una inercia docente (completamente explicable) a no buscar aplicaciones “interesantes” o no triviales. Tal cosa requiere tiempo, esfuerzo y sobre todo *motivación a hacerlo*. La única forma de lograr que las habilidades cuantitativas de los estudiantes de CBS mejoren es, repitiendo mi opinión expresada en mi artículo de CONTACTOS antes citado, que los profesores de CBS convenzan al profesorado de matemáticas que da los cursos a CBS de que les están quedando mal con los estudiantes, o mejor, que los propios profesores de CBS den sus cursos de ciencias cuantitativas.

Como comenté mas arriba, existe un divorcio tremendo en lo que los comités de rediseño curricular de las biociencias dicen que los estudiantes deben aprender (con respecto a ciencias cuantitativas) y los métodos cuantitativos que día con día esos mismos profesores usan en sus clases. En principio, un miembro del departamento de matemáticas de la UAMI, escogido al azar, será difícil de convencer de la necesidad de que invierta su tiempo y esfuerzo en dar cursos adecuados para los estudiantes de CBS, si los profesores de CBS, en una cantidad no despreciable, no hacen el menor esfuerzo en *hacer uso de metodologías cuantitativas exigidas a los estudiantes en el curriculum de la carrera* (no triviales) en sus mismos cursos.

En principio, y a modo de comentario, no se puede rediseñar el curriculum de ciencias cuantitativas para CBS sin rediseñar el curriculum de las carreras de CBS de tal forma que éste *incluya la aplicación en clase, laboratorio o prácticas de campo, de los métodos cuantitativos enseñados a los estudiantes.*

El nuevo enfoque

Transcribo a continuación las metas de un programa (de duración anual) de métodos cuantitativos para biocientíficos que ha sido diseñado en la Universidad de Tennessee en Knoxville. Este curso, junto con varios otros implementados o construyéndose en las Universidades de Utha y Cornell (en el que a la fecha participo activamente) por ejemplo, se basa en las conclusiones de una serie de dos talleres sobre el tema del documento que el lector tiene en sus manos. Los talleres se llamaron *Workshop on a quantitative sciences curriculum for Life-Sciences students*, llevados a cabo en 1992 y 1994, respectivamente. El programa de matemáticas citado se propone introducir al estudiante a una variedad de tópicos matemáticos útiles en el análisis de problemas que surgen en las ciencias biológicas. Está diseñado para estudiantes de biología, agricultura, silvicultura, manejo de recursos, medicina y otras ciencias de la salud.

Metas:

Que el estudiante desarrolle habilidades para analizar cuantitativamente problemas relacionados con su área biológica de interés.

Que el curso ilustre la gran utilidad de los modelos matemáticos para resolver problemas biológicos clave.

Que el estudiante desarrolle y amplíe la gama de enfoques matemáticos potencialmente útiles en las biociencias.

Que el estudiante obtenga experiencia en el uso de software computacional para el análisis de datos y la investigación de modelos matemáticos.

Métodos:

Motivar la formulación de hipótesis y su contrastación tanto en los tópicos biológicos como en los matemáticos cubiertos en el curso.

Motivar la investigación de problemas reales a través del uso de bases de datos tanto en clase como en tareas y exámenes.

Reducir el papel de la pura memorización de fórmulas matemáticas a través del uso de software apropiado.

Motivar la investigación de enfoques cuantitativos en las áreas biológicas de interés especial para el estudiante, a través de la formulación de proyectos de trabajo.

Biometry 102

Diferentes instituciones representadas en los talleres arriba mencionados, tomaron distintas estrategias para atacar el problema de la enseñanza de las ciencias cuantitativas a los estudiantes de ciencias biológicas y de la salud. La estrategia adoptada por la Universidad de Cornell está basada sobre el diseño y operación de un curso llamado Biometry 102. Este curso debe ser tomado por cualquier estudiante de nuevo ingreso. Los prerequisites son mínimos (precálculo). Este curso hace fuerte uso de infraestructura computacional y software muy específico pero de gran aplicabilidad y potencia. El que esto escribe ha tenido la suerte de colaborar en el diseño y operación de este curso, tanto en la compilación de material didáctico, la elaboración de prácticas de laboratorio como en la docencia propiamente dicha del mismo. Por ello, en esta sección se detallará con alguna extensión la forma de operación del curso así como aspectos prácticos y particulares de Cornell que le dan razón de ser. Otra vez, el objetivo de esta descripción es la de ofrecer un marco comparativo o punto de referencia que nos sirva para, en el futuro, guiar nuestros diseños que, por supuesto, no podrán ser copias ni refritos de otros. En principio nuestra materia prima (estudiantes y profesores) y nuestra infraestructura material difieren grandemente en historia, circunstancia social y cantidad.

Los objetivos del curso Biometry 102 son esencialmente los mismos que los del programa diseñado en la Universidad de Tennessee citados arriba. La variante es la siguiente: Biometry 102 (abreviado de aquí en adelante como btry102) dura solo un semestre, con dos horas de clase 'teórica' mas dos horas y media de laboratorio de computación por semana. Los tópicos cubiertos en el curso son probabilidad básica, funciones de probabilidad discretas, ecuaciones en diferencias, estadística descriptiva, ecuaciones diferenciales ordinarias, funciones de distribución continuas, estimación de parámetros (lineal y no lineal). El material expuesto en clase está constituido esencialmente por ejemplos reales obtenidos de búsquedas minuciosas y exhaustivas de material bibliográfico, así como ejemplos derivados de la experiencia del profesorado que da el curso y en los que se ilustra la aplicación de uno o más de las materias señaladas anteriormente. El laboratorio de computación hace uso del paquete computacional *Mathematica*. En el laboratorio, se resuelven problemas análogamente a como se desarrollan experimentos en los laboratorios de materias 'biológicas' propiamente dichas. Los exámenes intersemestral y el final están constituidos por una sesión teórica (individual, libro cerrado) y otra

práctica (proyectos, libro abierto) que deben desarrollar en una semana haciendo uso de todas las herramientas e información que se necesite.

La filosofía básica de este curso es que las ciencias cuantitativas deben ser enseñadas como una materia experimental (como fisiología, biología celular, inmunología, etc), en donde el estudiante es forzado a interactuar directamente con el objeto de aprendizaje lográndose con ello habilidad práctica en el manejo de la herramienta así como una mejorada comprensión del material teórico sobre el que la práctica de laboratorio versa. El paquete computacional que se usa es *Mathematica* por varias razones. *Mathematica* es un paquete versátil que puede hacer prácticamente todo tipo de matemáticas y estadística, tiene un excelente producción de imágenes gráficas, tiene una amplísima capacidad para realizar álgebra simbólica y por consiguiente, no es necesario adquirir ni aprender multitud de plataformas (paquetes) que se especializan en uno solo de los tópicos arriba mencionados. *Mathematica* y la familia de software que realiza la llamada álgebra simbólica como (*Derive* o *Maple*) son herramientas para hacer matemáticas modernas.

En el curso se hace uso de los conceptos matemáticos con los que el alumno llega (sin importar que tan intuitivo sea dicho conocimiento) y se le motiva a que explore, aplique y reafirme estos conocimientos *haciendo* matemáticas. Es en este aspecto en donde la necesidad de usar paquetes como *Mathematica* se hacen evidentes. Este es un muy poderoso sistema para hacer matemáticas pero es impresionantemente inútil e impráctico para alguien que no entienda el concepto matemático detrás del comando que se desea ejecutar. Por otro lado, *Mathematica* libera al estudiante de tener que memorizar fórmulas y fórmulas, trucos y técnicas que, aunque indudablemente necesarias para alguien interesado en aprender a demostrar teoremas, son estorbos mas o menos reales para aquellos que saben qué están modelando y qué quieren obtener del modelo pero que carecen del entrenamiento adecuado para realizar la talacha.

Este curso es, por supuesto, sumamente demandante tanto para el alumno, como se puede inferir de lo dicho arriba, como para el profesor quién tiene que estar constantemente asesorando, guiando, motivando, discutiendo y resolviendo las dudas que surgen a cada rato. Esto sin embargo se compensa con el carácter sumamente activo del curso: aprender haciendo es la mejor forma de *aprender y enseñar*.

La desventaja de este enfoque es que requiere de una cantidad de recursos muy grande para funcionar razonablemente. En primer lugar el cupo máximo del curso, que es obligatorio para los estudiantes de nuevo ingreso, es de 70. Esta restricción es dictada por la disponibilidad de equipo de cómputo. En Cornell se cuenta con un laboratorio con 26 máquinas IBM 486 66Mhz, con 8 MB de

memoria RAM, cada una con una copia legal de *Mathematica* (que no correría con una configuración computacional menor). Es necesario además contar con ayudantes de laboratorio quienes, idealmente, han tomado previamente el curso y, por consiguiente, están familiarizados con el software, el hardware y el tipo de problemática inherente al curso.

La reacción estudiantil a btry102 es inicialmente de asombro y desconcierto pues, por un lado, el tipo de herramienta cuantitativa a utilizar es avanzada y los prejuicios existentes sobre lo que un estudiante de biociencias puede y no puede hacer en matemáticas y estadística son enormes. Por otro lado, es un curso de matemáticas inusual y no-estándar, donde las cosas se aprenden por práctica y no memorización. Los conceptos fundamentales se van aprendiendo al hacer *uso* de ellos. Después de esta primera etapa, los estudiantes, en su mayoría, se vuelven sumamente hábiles en el manejo de la computadora y se adaptan con rapidez al enfoque 'experimental' del curso. Esto, sin lugar a dudas es consecuencia, en parte, de que los biocientíficos están acostumbrados a trabajar en equipo, cosa que no sucede con los estudiantes de matemáticas, por ejemplo.

Las evaluaciones estudiantiles del curso son, en general, positivas. Aunque innegablemente es un curso que requiere de mucho trabajo y tiempo, btry102 deja a los estudiantes satisfechos con lo aprendido pues, en primer lugar, es inmediatamente aplicable y por el otro, fue aprendido mediante ejemplos que mostraron cómo se aplica y qué resultados surgen de su aplicación en problemas reales. En nuestro curso hemos tenido estudiantes graduados que se inscriben como oyentes. Sus comentarios son también positivos.

Math 151-152

El curso que a continuación describo corresponde a la variante que sobre las metas y objetivos dados arriba, se diseñó en la Universidad de Tennessee en Knoxville. El curso tiene nivel introductorio y es prerrequisito para aquellos que quisieren tomar cursos mas avanzados de matemáticas. Su duración es de un año. Antes de tomarlo, los estudiantes deben conocer ciertas cosas básicas. Los

prerrequisitos son dos años de álgebra, un año de geometría y medio año de trigonometría. Un laboratorio de cómputo donde se hace uso de MicroCalc y MatLab es obligatorio.

Contenidos académicos:

1. Estadística descriptiva: análisis de datos tabulares, medias, varianzas, histogramas, regresión lineal.
2. Exponenciales y logaritmos: escalamiento, alometría.
3. Algebra matricial: adición, multiplicación, inversión, modelos matriciales en biología de poblaciones, valores y vectores propios, cadenas de Markoff, sucesión ecológica.
4. Probabilidad discreta: genética poblacional, análisis de secuencias genéticas. (FIN DE LA FASE UNO)
5. Sucesiones y ecuaciones en diferencias: introducción a sucesiones y concepto de límite.
6. Ecuaciones en diferencias: ejemplos lineales y no lineales, equilibrio, estabilidad y homeostasis, el modelo logístico, cálculo de límites.
7. Límites de funciones y continuidad.
8. Derivación.
9. Esbozo de curvas.
10. Exponenciales y logaritmos. (FIN DE LA FASE DOS)
11. Antiderivadas e integrales.
12. Funciones trigonométricas.
13. Ecuaciones diferenciales y modelaje. (FIN DE LA FASE TRES)

Matemáticas para Biocientíficos

A continuación pongo ahora los contenidos académicos de un curso análogo al anterior pero diseñado con otro espíritu. Se espera que los estudiantes quieran entender y aprender biología. Esa es la motivación. Los prerrequisitos son los mismos que para el de los cursos anteriores. El curso se desarrolla alrededor de tres temas biológicos centrales: crecimiento, difusión y selección. El curso enfoca la enseñanza de las matemáticas como un entrenamiento para modelar sistemas biológicos: para entender y aprender biología. Su duración es de un año. Laboratorio de computación también obligatorio; paquete utilizado: MAPLE.

Contenidos académicos:

1. Biología y dinámica. Crecimiento: modelos del paludismo; mantenimiento: modelos de neuronas; replicación: modelos genéticos. Dinámica del crecimiento: crecimiento exponencial, funciones, terminología y gráficas.

2. Análisis preliminar del crecimiento: unidades y dimensiones. Manipulando funciones: relaciones de proporción y líneas, formulación y graficación de líneas, funciones inversas.
3. Resolviendo ecuaciones: ecuación de crecimiento bacteriano, ecuación de crecimiento corporal, composición de funciones. Soluciones y funciones exponenciales: leyes de los exponentes; expresión de resultados usando exponenciales.
4. Intercambio gaseoso en los pulmones.
5. Equilibrio y desviaciones del equilibrio: selección natural, equilibrio, estabilidad, evolución. Estabilidad y la derivada: motivación, derivadas y límites.
6. Límites y continuidad: propiedades, funciones continuas. Calculando derivadas, derivadas de sumas y productos, derivadas de polinomios y cocientes. Aproximación de funciones.
7. Derivadas y dinámica: estabilidad de la ecuación logística. La regla de la cadena. Derivadas de funciones especiales. Usos de la derivada: maximización de cosecha en el manejo de recursos renovables.
8. Propiedades importantes de las funciones continuas: el teorema de Rolle. Límites infinitos: la regla de L'Hopital.
9. El método de Newton.
10. Modelos de respiración pulmonar.
11. Modelos de sistemas excitables: el corazón.
12. Ecuaciones diferenciales: deducción y tasas de cambio, producción química y crecimiento. Ecuaciones diferenciales básicas: ley del enfriamiento de Newton, difusión a través de una membrana, selección natural.
13. Antiderivadas, reglas básicas; resolución de ecuaciones diferenciales polinomiales. La regla de la cadena e integración. Integrales y sumas. Integrales definidas e indefinidas. Integrales y áreas, integrales, masa y volumen. Integrales impropias. (FIN DE LA FASE UNO)
14. Ecuaciones diferenciales autónomas.
15. Equilibrios estables e inestables.
16. Resolución de ecuaciones diferenciales autónomas.
17. Sistemas depredador-presa.
18. El plano fase en ecología, química y genética.
19. Vectores: definiciones, propiedades y geometría.
20. Vectores y matrices: operaciones, valores propios, vectores propios y distribución estable de edades.
21. Funciones de dos variables: derivadas parciales, planos tangentes.
22. El gradiente.
23. Redes neuronales: canales de sodio, canales de potasio, ecuación de FitzHugh-Nagumo y su análisis (FIN DE LA FASE DOS).
24. Modelos probabilísticos.
25. Modelos estocásticos de difusión: deriva génica y modelos estocásticos discretos, en ecuaciones diferenciales y en cadenas de Markoff.
26. La genética del entrecruzamiento, la dinámica de la estatura y herencia.
27. Probabilidad elemental: espacios muestrales, conjuntos, probabilidad condicional, ley de probabilidad total y teorema de Bayes.

28. Cadenas de Markoff e independencia.
29. Distribuciones y densidades probabilísticas.
30. Variables aleatorias: tipos y esperanzas.
31. Estadística descriptiva, distribuciones conjuntas. covarianzas y correlación.
32. Matrices y cadenas de Markoff.
33. Sumas y productos de variables aleatorias.
34. Distribuciones discretas: binomial, exponencial y Poisson.
35. Distribuciones continuas: la distribución Normal.
36. Estimación de parámetros, intervalos de confianza, estimación de medias.
37. Pruebas de hipótesis.
38. Regresión. (FIN DE LA FASE TRES)

Propuesta para los cursos de matemáticas en CBS

Basándome en los mismos objetivos y metas esbozados mas arriba, la siguiente es una lista tentativa de tópicos en los que podrían basarse Mate I-III. El principal punto a resaltar es que se intentaría introducir estadística en ellos, no para sustituir el curso que posteriormente se les da, sino para poder estudiar y entender mejor los tópicos que ese curso cubre. En general, la forma de pensar en estadística es distinta de la que se aplica en modelación matemática con, digamos, ecuaciones diferenciales. Los métodos estadísticos que se enseñan a los biólogos y biocientíficos en general, van siempre encaminados a aplicarse en situaciones concretas de campo o laboratorio. Por consiguiente, en mi opinión, los cursos de estadística propiamente dicha, deben tener un enfoque computacional y práctico. De ahí la necesidad de incorporar las bases matemáticas de la materia en Mate I-III.

Sin mas preámbulo, procedo a presentar mi propuesta

Contenido.

Matemáticas I

1. Funciones elementales y su graficación.
Motivación. Bases de datos (sarampión en el D.F.)
Uso (Laboratorio de computación y uso de calculadoras).
Fundamentos.
Ejemplos (Alometría, curvas de crecimiento, bioquímica).
2. Unidades y dimensiones. Razones y proporciones.
Motivación (escalas temporales y espaciales).
Uso.
Fundamentos.
Ejemplos (conversión de unidades).
3. Exponenciales y logaritmos.
Motivación (alometría, fisiología, bioquímica).
Uso.
Fundamentos.
Ejemplos (revisión de los anteriores).
4. Tasas de cambio.

Motivación.
Uso.
Fundamentos.
Ejemplos.

5. La derivada.

Motivación.
Uso.
Fundamentos.
Ejemplos.

6. Límites de sucesiones y funciones.

Motivación.
Uso.
Fundamentos.
Ejemplos.

7. La derivada y sus aplicaciones: máximos y mínimos.

Motivación.
Uso.
Fundamentos.
Ejemplos.

8. Propiedades importantes de funciones continuas. Motivación.

Uso.
Fundamentos.
Ejemplos.

9. Límites infinitos. Motivación.

Uso.
Fundamentos.
Ejemplos.

10. Ecuaciones en diferencias.

Motivación.
Uso.
Fundamentos.
Ejemplos.

11. Antiderivadas.

Motivación.
Uso.
Fundamentos.

Ejemplos.

Matemáticas II

1. Sistemas dinámicos discretos.

Motivación.

Uso.

Fundamentos.

Ejemplos.

2. Estabilidad e inestabilidad. Puntos de equilibrio.

Motivación.

Uso.

Fundamentos.

Ejemplos.

3. Matrices y vectores.

Motivación.

Uso.

Fundamentos.

Ejemplos.

4. Operaciones básicas. Eigenvectores y eigenvalores.

Motivación.

Uso.

Fundamentos.

Ejemplos.

5. Ecuaciones diferenciales.

Motivación.

Uso.

Fundamentos.

Ejemplos.

6. Antiderivación (una vez más).

Motivación.

Uso.

Fundamentos.

Ejemplos.

7. Ecuaciones diferenciales autónomas.

Motivación.

Uso.

Fundamentos.
Ejemplos.

8. Estabilidad e inestabilidad. Puntos de equilibrio.

Motivación.

Uso.

Fundamentos.

Ejemplos.

9. El plano fase.

Motivación.

Uso.

Fundamentos.

Ejemplos.

10. Funciones de dos variables.

Motivación.

Uso.

Fundamentos.

Ejemplos.

11. Planos tangentes y gradientes.

Motivación.

Uso.

Fundamentos.

Ejemplos.

Matemáticas III

1. Modelos probabilísticos.

Motivación.

Uso.

Fundamentos.

Ejemplos.

2. Probabilidad elemental.

Motivación.

Uso.

Fundamentos.

Ejemplos.

3. Matrices y vectores (otra vez).

Motivación.

Uso.
Fundamentos.
Ejemplos.

4. Variables aleatorias, distribuciones y densidades.

Motivación.
Uso.
Fundamentos.
Ejemplos.

5. Distribución binomial

Motivación.
Uso.
Fundamentos.
Ejemplos.

6. Distribución exponencial

Motivación.
Uso.
Fundamentos.
Ejemplos.

7. Distribución de Poisson.

Motivación.
Uso.
Fundamentos.
Ejemplos.

8. Distribución Normal.

Motivación.
Uso.
Fundamentos.
Ejemplos.

9. Funciones lineales: regresión.

Motivación.
Uso.
Fundamentos.
Ejemplos.

10. Modelos estocásticos continuos.

Motivación.
Uso.

Fundamentos.

Ejemplos.

11. Matemáticas y las ciencias biológicas y de la salud.

Motivación.

Uso.

Fundamentos.

Ejemplos.

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado con el apoyo de CONACYT, proyecto 400200-5-3551E y de la NSF grant DEB-9253570 otorgada a Carlos Castillo-Chavez.

Fuentes y Referencias

- Summary of recommendations. Workshop on a Quantitative Sciences Curriculum for Life-Sciences Students. Knoxville, Tennessee, February 6-8, 1992.
- Instructors guide to Math 151-2, August 1994. Prof. Louis Gross, Department of Mathematics, University of Tennessee at Knoxville
- Summary of recommendations. Workshop on a Quantitative Sciences Curriculum for Life-Sciences Students. Knoxville, Tennessee, May 19-21, 1994.
- Interdisciplinary Quantitative Curriculum Development: Lessons from a Project in the Life Sciences, Prof. Louis Gross, Department of Mathematics, University of Tennessee at Knoxville, American Mathematical Society/Mathematical Association of America workshop on "Changing collegiate education: mathematical sciences and their uses in other disciplines", 1994.
- Mathematics for Life-Scientists, Prof. Fred Adler. University of Utah, 1995.
- Courses of Study, Spring 1995. Cornell University.
- Lecture Notes. Biometry 102: C.H. MacCullough, G. Casella, C. C. Chavez, S. F. Shu-Schmitz, J. X. Velasco Hernández. 1992, 1993, 1994.